请注意赛普拉斯已正式并入英飞凌科技公司。
此封面页之后的文件标注有“赛普拉斯”的文件即该产品为此公司最初开发的。请注意作为英飞凌产品组合的部分，英飞凌将继续为新的及现有客户提供该产品。

文件内容的连续性
事实是英飞凌提供如下产品作为英飞凌产品组合的部分不会带来对于此文件的任何变更。未来的变更将在恰当的时候发生，且任何变更将在历史页面记录。

订购零件编号的连续性
英飞凌继续支持现有零件编号的使用。下单时请继续使用数据表中的订购零件编号。

THIS SPEC IS OBSOLETE

Spec No: 002-05753

Spec Title: AN205296 - FM3, MB9BF506 SERIES, SPWM GENERATION (ZH)

Replaced by: None

AN205296

FM3, MB9BF506 系列, SPWM 生成

本应用笔记描述了 SPWM 的原理和利用 MB9BF506 32 位微控制器产生 SWPM 信号。

目录

1 简介 1
1.1 目的 1
1.2 定义、关键字和缩写词 1
1.3 文章概述 1
2 SPWM 运算原理 2
2.1 概述 2
2.2 SPWM 算法 2
2.3 SPWM 逆变电路的谐波分析 6
3 SPWM 应用 7
3.1 SPWM 在单相逆变电源中的应用 7
4 附加信息 8
修改记录 9

OBSOLETE

1 简介

1.1 目的

本应用笔记描述了 SPWM 的原理和利用 MB9BF506 32 位微控制器产生 SWPM 信号。

1.2 定义、关键字和缩写词

SPWM - Sinusoidal Pulse Width Modulation（正弦脉宽调制）

1.3 文章概述

下面的文档结构如下：

章节 2 SPWM 运算原理

章节 3 SPWM 应用

2 SPWM 运算原理

SPWM 算法原理

2.1 概述

PWM 技术利用全控型器件的导通和关断把电压变成幅值相等而宽度不等的电压脉冲序列，实现变压、变频控制并且消除谐波。采样控制理论说明：冲量相等而形状不同的窄脉冲加在具有惯性的环节上时，其效果基本相同。SPWM 控制技术就是利用这一理论基础来控制半导体开关器件的导通和关断，使输出端得到一系列幅值相等，脉冲宽度按照所期望得到的波形规律变化的脉冲。用这些脉冲代替所期望输出的波形。这项技术应用在逆变器中，不但可以方便的控制逆变器输出的电压，也可以控制输出电压的频率。

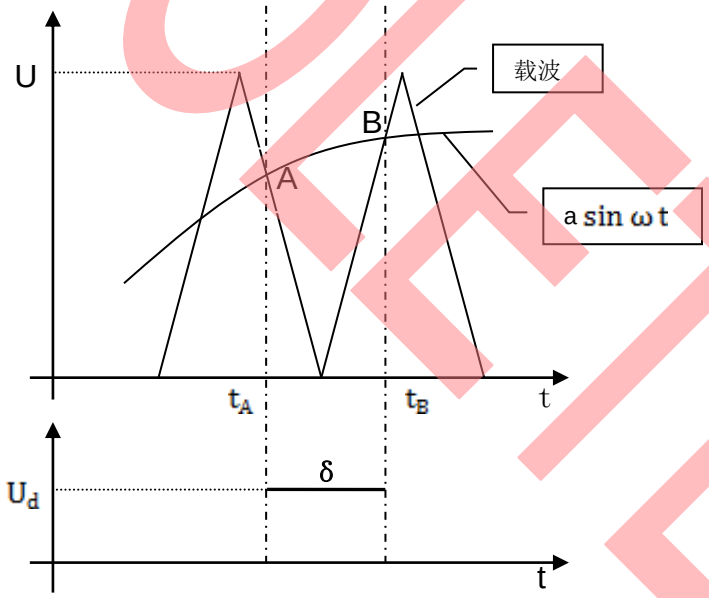
虽然 PWM 控制理论很早就提出，但受到电力电子器件发展水平的限制而没能广泛应用。随着全控型电力电子器件的快速发展，这一理论才真正得到了应用。伴随着电力电子，半导体微电子和各种控制理论的发展，如今的 PWM 控制技术已有了长足的发展。

2.2 SPWM 算法

2.2.1 自然采样法

以正弦波为调制波，等腰三角波为载波进行比较，在两个波形的自然交点时刻控制开关器件的通断，这就是自然采样法，如图 1 所示。其优点是所得 SPWM 波形最接近正弦波，但由于三角波与正弦波交点有任意性，脉冲中心在一个周期内不等距，从而脉宽表达式是一个超越方程，计算繁琐，难以实时控制。

图 1. 自然采样

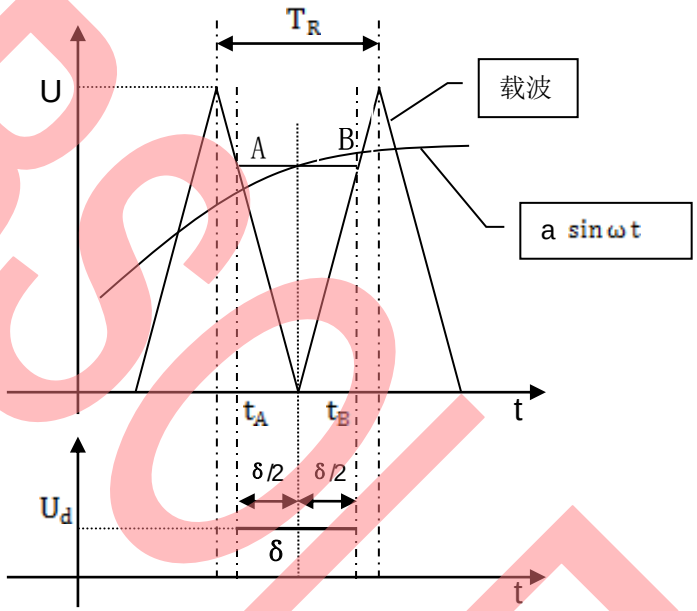


OBSOLETE

2.2.2 对称规则采样法

对称规则采样法是自然采样法的改进，它由过三角波对称轴与正弦波的交点做平行于时间轴的直线，该平行线与三角波两个腰的交点作为 SPWM 波的开通和关断时刻。这种方法只在三角波的顶点或底点位置对正弦波采样，对称规则采样法的原理如图 2 所示。

图 2. 对称规则采样法



设正弦波为 a sinωt,三角波的幅值设定为单位量 1，三角波和正弦波向上平移一个单位量，在三角波底点位置对正弦波采样，利用相似三角形原理可得如下关系式：

$$\frac{1+a\sin\omega t}{\delta/2}=\frac{2}{T_R/2} \quad (1)$$

化简（1）式得到：

$$\delta=T_R(1+a\sin\omega t)/2$$

$$\text{In } \omega t=(k+3/4)2\pi/2 \quad (k=0，1，2.....N\text{-}1)$$

一相开通时刻的脉冲宽度，T_R 为三角波的周期。N 为载波比，2π/N 为三角波周期 T_R 所对应的弧度，K 为一个周期采样的计数值。

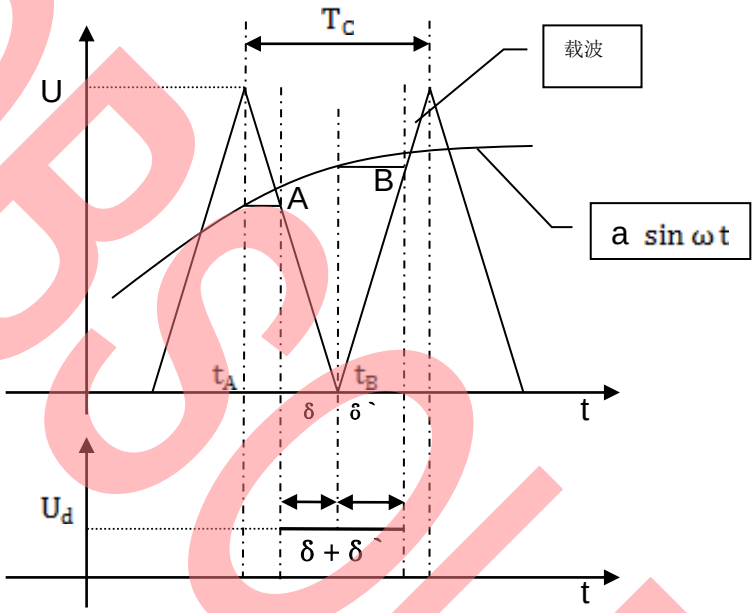
由于在每个三角载波周期中只需要进行一次采样便可以得到一个开关信号，因此化简了计算公式，并可根据脉宽计算公式实时计算出 SPWM 波的脉宽时间，实现数字化控制。但由于形成的 WPWM 波与正弦波的逼近程度存在较大的误差，因而会造成一定的控制误差。

OBSOLETE

2.2.3 不对称规则采样法

不对称规则采样法的基本是想是即在三角波的顶点位置采样，又在三角波的底点位置采样，与正弦波的交点沿时间轴延长交三角波与 A,B 两点，既在一个三角波周期里对正弦波采样两次。如图 3 所示：T_A 和 T_B 分别为高电平脉冲的起始时刻和关断时刻。

图 3. 不对称规则采样法



设三角载波的幅值为单位量 1，正弦调制波幅值为 a，三角载波和正弦波均向上平移一个单位量，如图 3 所示。根据相似三角形原理可以得到如下关系式：

$$\frac{\delta}{T_C/2} = \frac{1 + a\sin\omega t_A}{2}$$

$$\frac{\delta'}{T_C/2} = \frac{1 + a\sin\omega t_B}{2}$$

化简得：$\delta = \frac{T_C(1+a\ \sin\omega t_A)}{4}$

$$\delta' = \frac{T_C(1+a\sin\omega t_B)}{4}$$

由以上推导得 SPWM 的脉宽为：

$$\delta+\delta` = \frac{T_C}{2}\left[1 + \frac{a}{2}(\sin\omega t_A + \sin\omega t_B)\right]$$

设载波比（三角波（载波）频率与正弦波（调制波）频率之比）为 N，由于每个载波周期内采样两次调制波，所以：

$$t_A = \frac{T_C}{2}K \quad (K = 0,2,4.....2N-2)$$

$$t_B = \frac{T_C}{2}K \quad (K = 1,3,5.....2N-1)$$

OBSOLETE

由于 $f_c/f_m = N = \frac{1}{T_C f_m}$

则：$\omega t_A = 2\pi f_m t_A = 2\pi f_m \frac{T_C}{2} K = \frac{\pi}{N} K$ (k=0,2,4...2N-2)

$\omega t_B = 2\pi f_m t_B = 2\pi f_m \frac{T_C}{2} K = \frac{\pi}{N} K$ (k=1,3,5...2N-1)

所以：

$\delta = \frac{T_C}{4}(1 + a \sin\frac{\pi}{N} K)$ (k=0,2,4...2N-2)

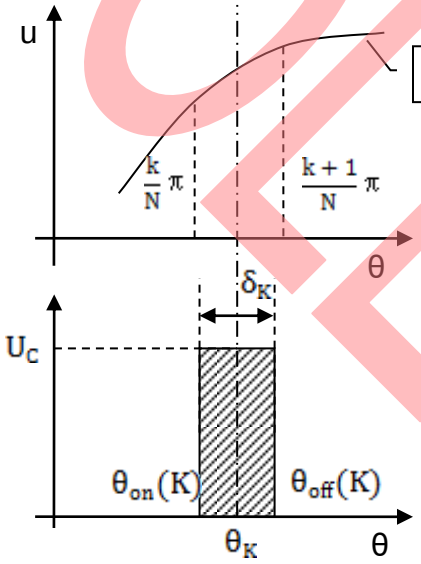
$\delta' = \frac{T_C}{4}(1 + a \sin\frac{\pi}{N} K)$ (k=1,3,5...2N-1)

由于不对称规则采样法同时在三角载波的顶点和底点对称位置对调制波进行采样，即每个载波周期内采样两次。所形成的 SPWM 与正弦调制波的相似度较对称规则采样法有很大的提高，所输出的波形也与自然采样法更接近。因此本系统采用了不对称规则采样法。

2.2.4 单极性面积等效法

根据采样控制中的一个重要理论：冲量相等而形状不同的窄脉冲加在具有惯性的环节上时，其效果基本相同。冲量是指窄脉冲的面积。正弦脉宽调制的等效面积法就是利用一系列等幅不等宽的窄脉冲来代替在各个采样周期内正弦波与时间轴围成的面积。如图 4 所示：将正弦波半波 N 等份，其中每等份与 θ 轴围成的面积都用一个高度相等的矩形脉冲来代替。N 个等幅不等宽的矩形脉冲组合在一起就能代替一个正弦的半波。

图 4. 单极性面积等效法



设正弦波 u=a sinωt = a sin(θ),将正弦波正半波 N 等分，每一等份为 π/弧度,则第 K 等份的面积为 S_K,根据面积相等的原理。

$$S_K = \delta_K U_C = a \int_{\frac{K}{N}\pi}^{\frac{K+1}{N}\pi} \sin(\theta)\, d(\theta) \quad (K=1,2,3...N)$$

设调制比为$M = \frac{a}{U_C}$,则:

$$\delta_K = M[\cos\left(\frac{k}{N}\pi\right) - \cos(\frac{K+1}{N}\pi)]$$

OBSOLETE

根据面积中心等效的原理可得：

$$\int_{\frac{K}{N}\pi}^{\theta_K} a\sin(\theta)\,d(\theta) = \int_{\theta_K}^{\frac{K+1}{N}\pi} a\sin(\theta)\,d(\theta)$$

则脉冲的中心位置: $\theta_K = \arccos\left\{\frac{1}{2}\left[\cos\left(\frac{k}{N}\pi\right) - \cos\left(\frac{k+1}{N}\pi\right)\right]\right\}$

所以单极性脉冲的开关角为：

$$\begin{cases} \theta_{on}(k) = \theta_k - \frac{\theta_k}{2} \quad (k=1,2,3\ldots N) \\ \theta_{on}(k) = \theta_k + \frac{\theta_k}{2} \quad (k=1,2,3\ldots N) \end{cases}$$

2.3 SPWM 逆变电路的谐波分析

逆变器输出电压和输出电流的谐波分量大小是衡量逆变器性能的重要指标。逆变器输出的高次谐波会使感性负载的损耗增大，效率和功率因数降低，对电子设备产生严重的干扰，影响周边设备的正常工作。因此有必要对 SPWM 逆变器的输出谐波进行分析和有效控制。

根据信号的傅立叶分析得：

$$f(\delta) = \sum_{k=1,3,5,\ldots}^{N_2 \to \infty} Vo_k \sqrt{2}\sin K\omega t$$

$$Vo_k = \frac{4Vd_c}{\sqrt{2}K\pi}\sum_{i=1}((-1)^{i-1}\cos k\,\delta_i)$$

δ_i 为开关角度，t_i为开关时刻，$\delta_i = \omega t_i$

k=1,3,5,…

OBSOLETE

3 SPWM 应用

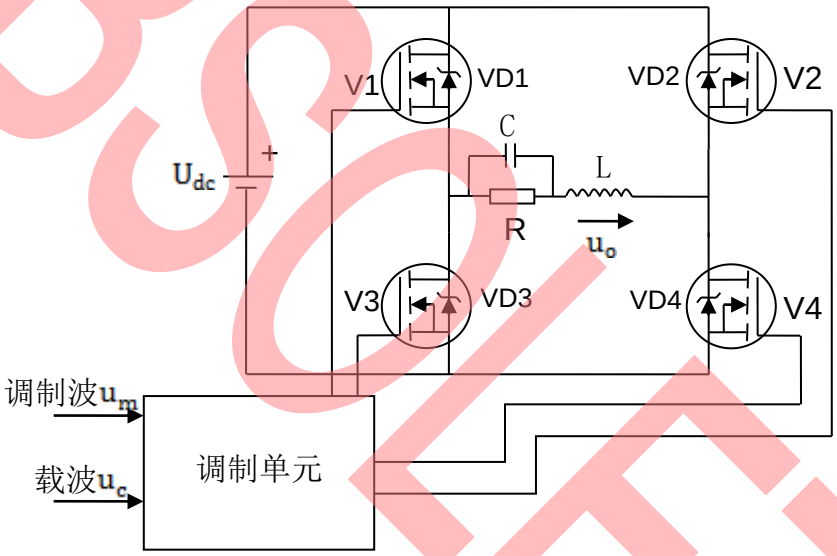
SPWM 算法在 MB9BF506 逆变系统中的应用

3.1 SPWM 在单相逆变电源中的应用

3.1.1 系统拓扑

如图 5，所示的单相全桥逆变电路，载波 u_c 是由单片机产生的高频三角波，调制波 u_m 是 MCU 内部的基准正弦调制信号，调制单元通过不同的 SPWM 算法（不对称规则采样或者面积等效法）产生四路高频的开关脉冲，控制全桥逆变器输出含高频分量的正弦电压。经过 LC 低通滤波器平滑滤波，消除谐波分量便能在负载 R 上得到纯净的正弦波。

图 5. 单相全桥逆变拓扑



3.1.2 系统算法

MB9BF506 芯片是 Cypress 推出的 32 位低成本的、基于 ARM Cortex-M3 内核、带有片上 Flash 存储器和 SRAM 的高性能微控制器。MB9BF506 内部包含一个多功能定时器(Multifunction Timer)，能方便的产生任意周期/脉宽的 PWM 信号。

为了计算简便，系统采用对称规则采样法来实现 SPWM 波形。虽然对称规则采样法的谐波分量比不对称规则采样法要大，但只要载波频率足够高，影响不是很大。

为了消除偶次谐波，调制比最好为奇数整数，且为 3 的倍数。并且三角波与正弦波的斜率在过零汇合处的极性必须相反。即对调制波的采样点是关于$\frac{\pi}{2}$和 π 对称的，如图 6 所示。三角波幅值变化范围是 0~ U_R，设调幅比为 M，则正弦波表示为：

$$U_S = (\frac{1}{2} + \frac{1}{2} M \sin\theta) U_R$$

利用顶点采样，则上桥臂开通时刻为：

$$t_{on} = \frac{1}{4} T_R (1 + M \sin\theta')$$

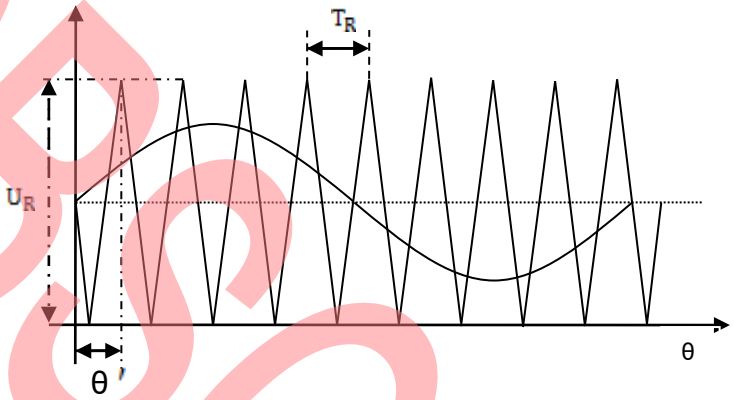
OBSOLETE

式中的 T_R 是载波的周期，θ′是三角波对正弦波的采样时刻，θ′表示为：

$$\theta' = \left(K + \frac{3}{4}\right)\frac{2\pi}{N}$$

式中 N 为调制比，$\frac{2\pi}{N}$是三角波载波周期 T_R 对应的幅度数，K 是一个正弦周期内采样的计数值，K = 1，2，3……N-1.

图 6. 系统调制原理图



系统中的载波频率为 30KHz，则载波比 N=600,即系统在一个正弦周期内对基波采样 600 次。MCU 对这 600 个采样值计算出幅值为 1 的正弦函数$\sin\left(K + \frac{3}{4}\right)\frac{2\pi}{N}$的 0 ~ 599 个离散值。制成表格存放在存储器中。系统重复调用表格中的数值装入 MCU 的 multifunction timer 中的 cont 计数器，从而生成连续的 SPWM 波形。

4 附加信息

关于 Cypress 半导体更多的产品信息，请访问以下网站：

http://www.cypress.com/cypress-microcontrollers

http://www.cypress.com/cypress-mcu-product-softwareexamples

OBSOLETE

修改记录

文档标题：AN205296 – FM3，MB9BF506 系列，SPWM 生成

文档编号：002-05753

修订版	ECN	变更者	提交日期	变更说明
**	-	Alan Fang	01/20/2012	0.1.0, 初稿
			03/07/2012	0.2.0, 更新
*A	5590182	CBZH	01/18/2017	将 Spansion 应用手册“MCU-AN-510101-z-02”转换为 Cypress 格式。
*B	6329252	SSAS	10/02/2018	Obsoleted

OBSOLETE

全球销售和设计支持

赛普拉斯公司拥有一个由办事处、解决方案中心、厂商代表和经销商组成的全球性网络。如果想要查找离您最近的办事处，请访问赛普拉斯所在地。

产品

ARM® Cortex®微控制器	cypress.com/arm
汽车级产品	cypress.com/automotive
时钟与缓冲器	cypress.com/clocks
接口	cypress.com/interface
物联网	cypress.com/iot
存储器	cypress.com/memory
微控制器	cypress.com/mcu
PSoC	cypress.com/psoc
电源管理 IC	cypress.com/pmic
触摸感应	cypress.com/touch
USB 控制器	cypress.com/usb
无线连接	cypress.com/wireless

PSoC® 解决方案

PSoC 1 | PSoC 3 | PSoC 4 | PSoC 5LP

赛普拉斯开发者社区

论坛 | WICED IoT 论坛| 项目 | 视频 | 博客 | 培训 | 组件

技术支持

cypress.com/support

OBSOLETE

PSoC 是赛普拉斯半导体公司的注册商标。PSoC Creator 是赛普拉斯半导体公司的商标。 此处引用的所有其他商标或注册商标都归其各自所有者所有。

赛普拉斯半导体
198 Champion Court
San Jose, CA 95134-1709
电话 :408-943-2600
传真 :408-943-4730
网站地址 :www.cypress.com

©赛普拉斯半导体公司，2012-2018 年。本文件是赛普拉斯半导体公司及其子公司，包括 Spansion LLC（“赛普拉斯”）的财产。本文件，包括其包含或引用的任何软件或固件（“软件”），根据全球范围内的知识产权法律以及美国与其他国家签署条约由赛普拉斯所有。除非在本款中另有明确规定，赛普拉斯保留在该等法律和条约下的所有权利，且未就其专利、版权、商标或其他知识产权授予任何许可。如果软件并不附随有一份许可协议且贵方未以其他方式与赛普拉斯签署关于使用软件的书面协议，赛普拉斯特此授予贵方属人性质的、非独家且不可转让的如下许可（无再许可权）：（1）在赛普拉斯特软件著作权项下的下列许可权（一）对以源代码形式提供的软件，仅出于在赛普拉斯硬件产品上使用之目的且仅在贵方集团内部修改和复制软件，和（二）仅限于在有关赛普拉斯硬件产品上使用之目的将软件以二进制代码形式的向外部最终用户提供（无论直接提供或通过经销商和分销商间接提供），和（2）在被软件（由赛普拉斯公司提供，且未经修改）侵犯的赛普拉斯专利的权利主张项下，仅出于在赛普拉斯硬件产品上使用之目的制造、使用、提供和进口软件的许可。禁止对软件的任何其他使用、复制、修改、翻译或汇编。

在适用法律允许的限度内，赛普拉斯未对本文件或任何软件作出任何明示或暗示的担保，包括但不限于关于适销性和特定用途的默示保证。赛普拉斯保留更改本文件的权利，届时将不另行通知。在适用法律允许的限度内，赛普拉斯不对因应用或使用本文件所述任何产品或电路引起的任何后果负责。本文件，包括任何样本设计信息或程序代码信息，仅为供参考之目的提供。文件使用人应负责正确设计、计划和测试信息应用和由此生产的任何产品的功能和安全性。赛普拉斯产品不应被设计为、设定为或授权用作武器操作、武器系统、核设施、生命支持设备或系统、其他医疗设备或系统（包括急救设备和手术植入物）、污染控制或有害物质管理系统中的关键部件，或产品植入之设备或系统故障可能导致人身伤害、死亡或财产损失其他用途（“非预期用途”）。关键部件指，若该部件发生故障，经合理预期会导致设备或系统故障或会影响设备或系统安全性和有效性的部件。针对由赛普拉斯产品非预期用途产生或相关的任何主张、费用、损失和其他责任，赛普拉斯不承担全部或部分责任且贵方不应追究赛普拉斯之责任。贵方应赔偿赛普拉斯因赛普拉斯产品任何非预期用途产生或相关的所有索赔、费用、损失和其他责任，包括因人身伤害或死亡引起的主张，并使之免受损失。

赛普拉斯、赛普拉斯徽标、Spansion、Spansion 徽标，及上述项目的组合，WICED，及 PSoC、CapSense、EZ-USB、F-RAM 和 Traveo 应视为赛普拉斯在美国和其他国家的商标或注册商标。请访问 cypress.com 获取赛普拉斯商标的完整列表。其他名称和品牌可能由其各自所有者主张为该方财产。